

北投垃圾焚化廠運轉後空氣品質及氣象 因子影響SPOT衛星遙測關渡平原水稻生長 之灰關聯分析

許明晃⁽¹⁾ 黃文達⁽²⁾ 楊志維⁽³⁾ 陳建璋⁽³⁾ 楊佳豪⁽³⁾
黃盟元⁽³⁾ 盧虎生⁽⁴⁾ 楊棋明^{(5)*}

摘要

本研究應用 1999~2003 年間之 SPOT 衛星遙測資料，監測關渡平原 21 個水稻樣區常態化差異性植生指數 NDVI 之季節性變化；並以灰關聯理論分析五種氣象因子（即累積降雨量、平均相對溼度、日照率、平均氣溫、與累積全天日射量）及七種空氣品質監測項目（包括 SO₂、O₃、NO_x、NO、NO₂、CO 及 PM₁₀）對關渡平原水稻衛星遙測 NDVI 之相關性。灰關聯度與灰序顯示，影響關渡平原水稻生長之二大類環境因子中，明顯的以五種氣象因子為主，而以七種環境品質監測項目為次。在五種氣象因子中，又以太陽相關因子（sun-related factors：即日射量、氣溫及日照率）為主，而與水分相關因子（water-related factors）（即溼度及降雨量）則為次。七種空氣品質監測項目中，則以 SO₂ 及 CO 為主，其次為氮氧化物即 NO_x、NO、NO₂，而 O₃ 及 PM₁₀ 則殿後。此顯示，北投垃圾焚化廠之排放氣體與粒狀物對關渡平原水稻生長若有影響，其程度遠不及氣象因子所造成之影響；而且若有影響，其中以 SO₂ 及 CO 之效應較大，其它為次。

關鍵詞：衛星遙測、關渡平原、氣象因子、常態化差異性植生指數（NDVI）、灰關聯分析、灰序

(1)中央研究院生物多樣性研究中心博士後。

(2)國立台灣大學農藝學系講師。

(3)中央研究院生物多樣性研究中心助理。

(4)國立台灣大學農藝學系教授。

(5)中央研究院生物多樣性研究中心副研究員暨國立台灣大學農藝學系兼任副教授。

*通訊作者。

（民國94年4月18日收件；民國94年9月9日修改；民國94年9月22日接受）

前 言

衛星遙測技術之發展已超過半個世紀，具有定期萃取大面積空間分佈資料之特徵，並可追溯過去時間及空間儲存資料的特殊優點，已廣泛運用於各領域之理論與實務之研究（Steven and Clark, 1990）。另外，由於電腦運算速度的增快、資料儲存量的擴增、電腦各種配組件體積的減小及其價格的滑落，使得衛星遙測技術已可被應用於植物生態學之研究（Roughgarden *et al.*, 1991）。然而，由於衛星遙測技術在光譜解析力、幾何解析力、與時間再現性（影像資料獲取頻率）上之限制，也使得其在植物生理生化學上之應用仍受到相當限制。

運用衛星遙測數位資料以監測地面植物生長狀況的各種植生指數（vegetation index）被廣泛研究與應用（Choudhury, 1987）。其中，被使用最多的是常態化差異植生指數（normalized difference vegetation index, NDVI），它是運用衛星拍攝的地面植被對日光中的紅光及近紅外光波段之反射率經計算而得的資料，可以反映被衛星拍攝的植被所處生態環境之生長狀況（Steven and Clark, 1990）。而影響生態環境的因子種類很多，個別因子的影響或貢獻強度（effect or contribution degree）也不同，造成生態環境影響植物生長的NDVI之因子種類及強度不同，尚且個別因子的影響或貢獻程度也有差異。如何在影響植物生長狀況的眾多因子中，依其貢獻大小排出順序則是方法論上的一個大問題。對個別因子的貢獻度之排序問題，傳統數理統計無法解決，但灰系統理論（grey system theory）則可以彌補這方面的缺點（Deng, 1989）。

傳統數理分析可以檢定個別子系統對其母系統之相關性，通常以 R^2 值顯示其母與子系統間關聯性之高低，但無法比較各子系之間的關聯度、貢獻度或重要性之程度、大小或排序問題。灰關聯分析（grey relational analysis）則可以解決此特殊問題，且所需的數據不必太多，而迴歸分析則必須要有足夠的數據（Deng, 1982, 1989）。灰系統理論自中國大陸華中理工大學鄧聚龍教授首次提出後（Deng, 1982），迄今超過二十年，被廣泛地運用在許多領域以協助解決問題，諸如：農業、經濟、工程、水利、生態、醫學、環保、氣象、地質、教育、體育、軍事（Deng and Guo, 1996）、營養（Yang *et al.*, 1999；Chao *et al.*, 2000；Chu *et al.*, 2003）與生化生態反應等（Yang *et al.*, 2001；Yang *et al.*, 1999）。其中的灰關聯分析曾被應用在拓樸效應對生態環境的影響（Che and He, 1993）、血清中肝纖維細胞檢測標記之選擇（Chen and Tan, 1995）、小麥農藝性狀與產量之關聯性（Guo *et al.*, 1991）、水稻農藝性狀與其衛星監測植生指數NDVI之關聯性（Yang *et al.*, 2004）、個別抗氧化物對總抗氧化力之影響（Chao *et al.*, 2001；Chu *et al.*, 2003）、植物光合作用捕光蛋白含量對葉綠素 a/b 比之貢獻度分析（Huang *et al.*, 2003）及其對光合作用速率之貢獻分析（Huang *et al.*, 2005）。最近，灰關聯分析也曾被運用於探討陽明山國家公園磺嘴山自然保護區五種氣象因子影響當地植被長期適應環境之問題（Huang *et al.*, 2003a；Huang *et al.*, 2005）；結果顯示，五種氣象因子可分為水分及太陽相關因子（water- and sun-related factors）二類，它們對磺嘴山植被長期適應環境過程有不同影響。水稻葉片葉綠素相關色素（chlorophyll-related compounds, CRCs）曾被對衛星遙測 NDVI 進行灰關聯分析，結果顯示位於葉綠體類囊膜（thylakoid）上極性較小的 CRCs 對衛星遙測 NDVI 之貢獻較大，而分佈於基質（stroma）水溶性較大之 CRCs 則對衛星遙測 NDVI 之貢獻較小（Yang, 2001）。相似結果亦在

三種不同顏色甘藷葉片發現 (Hsu, 2003; Hsu *et al.*, 2003)。

北投垃圾焚化廠位於北投區洲美里洲尾段，即位於關渡平原之東南角。1998/1/27 進行垃圾試燒；1998/5/16 煙囪廠房完工；1998/7/12 承包商試轉完成；1999/5/27 完成各系統驗收後，由台北市政府正式接管及運轉。其後陸續有農民陳情謂其稻穀產量減產六成且逐年遞減，懷疑是焚化爐排放氣體所引起。過去之研究結果未對煙囪排放氣體是否影響關渡平原水稻之生長及產量提出看法 (Sun and Shen, 2002)。但根據農委會農糧署關渡平原水稻資料分析，結果顯示關渡平原一期作水稻產量於北投垃圾焚化廠運轉前與後都呈逐年增產趨勢，而運轉後之增產趨勢是建立在比運轉前之更高產量上。1998 年之前關渡平原稻穀產量是減產年多於增產年，或減產期多於增產期；而 1998 年之後，反而是增產年多於減產年，或增產期多於減產期。不論是 1998 年之前或之後，長期以來關渡平原二期作再生稻產量只是其一期作移植稻之 4~6 成產量而已。亦即，二期作水稻都比一期作水稻平均減產 4~6 成。以上結果顯示，1998 年之後關渡平原水稻未減產反而是增產；因此，1998 年之後關渡平原水稻產量並未因焚化廠之運轉驟減或逐年減產 (Huang *et al.*, 2005)。

影響作物生長的環境因子多且複雜。本文試以運用灰關聯理論分析北投垃圾焚化廠於 1998 年興建後，五種氣象資料及七種空氣品質監測項目對關渡平原衛星遙測植生指數 NDVI 之影響，並探討這十二項環境因子對水稻生長影響之順序。

方法與材料

一、水稻樣區位置

關渡平原位於台北盆地西北方，地理位置特殊，基隆河自東向西繞於南境，匯入自南向北行於西邊之淡水河；陽明山國家公園與大屯火山群阻隔於東與北境，使之與距離約十公里之台灣海峽相隔開。其間雙溪、五分港溪、磺溪、貴子坑大排、水磨坑溪、舊貴子坑溪等天然與人造溪流與溝渠，自東北往西南貫穿關渡平原後注入基隆河。淡水河與基隆河匯台處即為今之關渡自然保護區與關渡公園，位於關渡平原之西南角，秋冬各種鳥類會集棲息於此。

本研究自關渡平原選取共 899 個水稻樣點，再根據方位及與北投垃圾焚化廠之距離歸類為 21 個樣區。這 21 個水稻樣區在關渡平原的分佈狀態應有統計上的代表性 (圖 1)。樣區 1 及 2 分佈在焚化廠東南 1km 內之洲美里、樣區 3 在東北 1km 內之漢諾威馬場附近、樣區 4 及 5 在西北 2~3km 之中八仙及下八仙、樣區 6 在西北約 3km 之關渡里、樣區 7~16 在焚化廠西北 5~6km 而大度路以北及貴子坑溪大排以西之一德里、樣區 17~21 則在西北西 4~5km 及大度路以北及貴子坑溪大排以東之豐年里。樣區處於不同方位，且與焚化廠之距離都在五公里以內之不同位置。

進行灰關聯分析時，每個水稻樣區都單獨且直接對五種氣象因子及七種空氣品質監測項目一起運算。

二、氣象資料

自 1999 年到 2003 年之五種氣象資料，直接向交通部中央氣象局洽購取得電子檔。氣象資

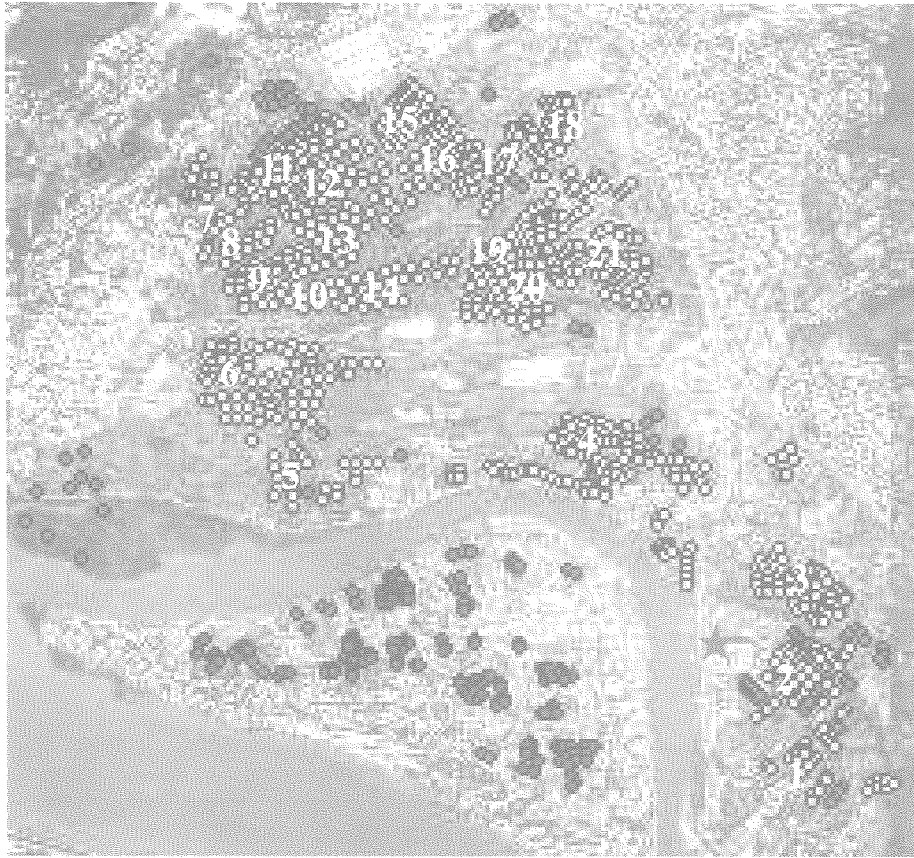


圖1 關渡平原萃取 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 之水稻、蔬菜及森林樣區。紅星代表北投垃圾焚化廠之位置。黃、紅及藍色圓圈分別代表水稻、森林及蔬菜樣區植被，其中水稻共 21 個樣區，編號 1-21。

Fig. 1 The normalized difference vegetation indices (NDVI) of sample area of rice, vegetable and forest monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery at Guandu Plain. Red star represents Beitou Garbage Incinerator. Yellow, red and blue point stand for forest, rice and vegetable sample area, respectively. Rice sample area was numbered from 1 to 21.

料由台北及淡水氣象站所紀錄，內容包括每月累積降雨量（monthly cumulative precipitation）、每月平均相對溼度（monthly mean relative humidity）、日照率（daily insolation percentage）、每月平均氣溫（monthly mean temperature）與累積全天日射量（daily cumulative irradiance）。每月累積降雨量：降水量係指在一定時間內之降水，儲積在一平面上，在無蒸發、流失或滲透等損耗情況下，其儲積量之深度謂之。一月之累積降雨為每月累積降雨量。每月平均相對溼度：溼度係大氣中水份含量多少之表示。依照世界氣象組織技術規範有六種表示方法，即水汽混台比、比濕、水汽壓、絕對溼度、相對溼度及露點等。一個月之平均相對溼度為每月平均相對濕

度。日照率：日照係指某地實際所受日光照射之時間，是為該地之日照時數。日照率為日照時數除以總時數之比率。每月平均氣溫：氣溫係以溫度計量測之，指在距地面 1.25~2.00 公尺間流動，而不受太陽直達輻射影響之空氣溫度而言。一月之平均氣溫為每月平均氣溫。累積全天日射量：日射則指太陽輻射能中，近紫外線至近紅外線（300~4000 nm）間所有直射、散射及反射等光波之總稱。一月之累積太陽日射輻射能即為累積全天空日射量。

將五年份之資料平均後即為進行灰關聯分析的試驗系列之數據（表 1）。台北及淡水氣象站距離關渡平原均約 4~5km。由於灰關聯分析運算結果相似，本文僅展示根據淡水氣象站資料分析之結果。

三、空氣品質

本研究使用之關渡平原空氣品質監測資料是由與北投垃圾焚化廠有關的士林站 1999~2003 年、菜寮站及大直站 2000~2003 年、及承德站 2002~2003 年所測的原始數據之月平均值。監測項目包括 SO₂ (ppb)、O₃ (ppb)、NO_x (ppb)、NO (ppb)、NO₂ (ppb)、CO (ppm) 及 PM₁₀ (mg/m³) 共七種（表 2）。由於灰關聯分析所得數據及結果相似，故本文僅展示士林站 1999~2003 年之運算結果。

四、衛星資料之獲取

法國 SPOT 衛星之遙測反射光譜資料向國立中央大學太空與遙測研究中心（CSRSR）購買，所有影像都屬第十等級（level 10）數位影像。影像正上空無任何雲層遮避。本研究共使用 55 幅 SPOT 衛星影像，涵蓋 1999~2004 年共 5 年半，包括：1999/2/18、1999/6/12、1999/8/17、2000/4/18、2000/5/8、2000/7/1、2000/8/21、2000/10/11、2001/1/18、2001/3/15、2001/10/10、2002/1/4、2002/1/13、2002/8/21、2003/1/19、2003/1/30、2003/4/2、2003/5/7、2003/6/1、2003/6/27、2003/7/14、2003/8/9、2003/8/26、2003/9/4、2003/9/18、2003/9/30、2003/10/26、2003/11/8、2004/2/10、2004/2/17、2004/3/9、2004/4/21 及 2004/5/11。以上 33 幅衛星資料依其太陽日順序排列後，計算水稻每月份之 NDVI 季節性之變化。

五、衛星遙測植生指數

本研究採用的植生指數為常態化差異植生指數（normalized difference vegetation index, NDVI）為主，以尋找可能的相關性與意義。植生指數 NDVI 之計算公式為 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 。其中 NIR 為近紅外光反射率，R 為紅光反射率。再根據每一樣區稻田全年度植生指數 NDVI 進一步分析與比較（表 3）。

六、灰關聯分析(Grey relational analysis)

以前述五種氣象因子及北投垃圾焚化廠士林站所測得的七種空氣品質數據為試驗系列，而以關渡平原 21 個水稻樣區之 SPOT 衛星遙測 NDVI 季節性變化為參考系列，依下列之原理與步驟進行灰關聯分析。本研究先採均值化後運算，均值化後之數列本報告未列出。

(一)原始數據列的均質化（mean value normalization）：

$$\text{當原始數據之平均值 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k),$$

則其均質化序列為 $x_0^* = (\frac{x(1)}{X}, \frac{x(2)}{X}, \frac{x(3)}{X}, \dots, \frac{x(k)}{X})$

(二)求兩極最大差和最小差，進而計算灰關聯係數 (grey relational coefficient) γ ，其定義如下：

$$\gamma(x_0(k), x_j(k)) = \frac{\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}{\|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}$$

$j = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, n$

j 是共同係數 (identification coefficient)，其值介於 [0,1] 之間

x_0 是參考序列 (reference data series)

x_j 是試驗序列 (test data series)

$\|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是 $x_0(k)$ 和 $x_j(k)$ 之差的絕對值

$\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是選自所有 j 之第二最小差 (the secondary minimum difference)

$\min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是選自所有 k 之第一最小差 (the first minimum difference)

所有 $\max \max$ 亦如上之取法。

(三)計算灰關聯度 $\gamma^*(x_0(k), x_j(k))$ ，其運算如下：

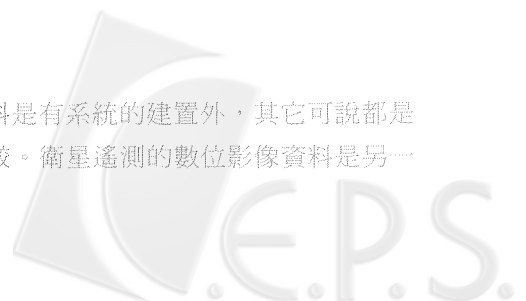
$$\gamma^*(x_0(k), x_j(k)) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_j(k))$$

(四)排出灰關聯序或灰序 (grey relational order or grey order)。

關聯係數表示兩個比較序列在任一時候的緊密或靠近程度，如果序列愈靠近則其關聯係數愈大，反之則愈小。若兩比較序列在各個點都重合在一起，則關聯係數處處都是 1，其關聯度也必為 1。因此，兩比較序列的關聯度可用此二序列各個時刻的關聯係數之平均值來量化。由於關聯分析的均質化過程已經把所有數據中性化，故不論同質群或異質群之各因子是可相互比較，且群間因子混合比較之灰序與群內因子單獨比較之灰序是具有相同的意義。

結果與討論

對於過去的關渡平原農情資料，除了農糧署的水稻資料是有系統的建置外，其它可說都是零星鬆散的而缺乏整合性，不易進行較有系統的分析與比較。衛星遙測的數位影像資料是另一



套有系統的資料，可藉以進一步探討衛星監測期間水稻之生長狀況。本研究使用法國 SPOT 衛星資料。總共取得上空無雲、有效可用之影像 33 幅，涵蓋時間範圍自 1999~2004，前後約 6 年度，大致分佈在每個月份上。以下的分析，基本上不計年份而直接分散到各月份。關渡平原農民耕作習慣為 2 月下旬開始一期稻插秧，3 月底前完成；7 月中旬陸續收割，8 月中旬完成；隨即進入二期稻，12 月底開始收割二期稻。二期稻有 99% 是再生稻 (Huang *et al.*, 2005)。

一、氣象因子與空氣品質

淡水氣象站 1999~2003 年五種氣象因子之月平均值基本上屬單峰曲線，但是其中的日射量、氣溫及日照率都在 6~8 月達最高峰原，而溼度及降雨量則都在 4~6 月達最高峰原 (表 1)。日射量、氣溫及日照率屬太陽相關因子 (sun-related factors)，而溼度及降雨量則屬水分相關因子 (water-related factors) (Huang *et al.*, 2003a)。顯然的，三種太陽相關因子間或二種水分相關因子間之同質性較大，而太陽及水分相關因子間之差異性較大。

士林站 1999~2003 年之空氣品質監測之月平均值雖都在法定安全範圍，但全年曲線出現高峰之月份較歧異 (表 2)。SO₂於 6 月而 O₃則於 5 及 10 月分別出現高峰。氮氧化物 NO_x、NO 及 NO₂則都集中於 3 及 6 月出現高峰。而 CO 及 PM₁₀則於 3 月出現高峰。

二、水稻衛星 NDVI 之季節性變化

衛星遙測的植生指數 NDVI 可以顯示地面植被的綠度或生理狀況，常被用以監測地面植物的生長狀況、其所處的生態環境或逆境與變遷。關渡平原水稻田的全年度 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 呈現明顯的季節性變化 (表 3)，NDVI 介於 0 及 0.5 之間，且明顯有二個高峰。二個植生指數 NDVI 的波峰，一在 6 月，二在 10 月，明顯地相當於每年的一期稻及二期稻營養生長之最高峰期，過後即為開花結穗期，植被由綠逐漸轉黃。每年 12 月及隔年 1~3 月之 NDVI 都較趨近 0，此顯然是 12 月為二期稻之黃熟期，而 1~2 月為休耕階段，農田基本屬於翻耕或裸土狀態；2~3 月則一期稻剛插秧，秧田的水與土影響 NDVI 較多而非單由秧苗決定。其後 3-6 月，所有水稻樣區 NDVI 都逐月增加，到 6 月時達最高峰。隨後又逐漸下降，於 8 月時達谷底，9~10 月為二期稻營養生長期其 NDVI 再緩升，於 10 月達第二高峰。11~12 月為二期稻之結穗與黃熟期，12 月底及 1 月中旬之間則為二期稻之收割期。亦即，水稻植被 NDVI 的季節性變化符合農民的耕作時節。

三、灰關聯分析

將上述五種氣象因子 (即累積降雨量、平均相對溼度、日照率、平均氣溫、與累積全天日射量) 及七種空氣品質監測項目 (即 SO₂、O₃、NO_x、NO、NO₂、CO 及 PM₁₀) 共十二種環境因子混合在一起比較。因為，這些因子都可能影響關渡平原水稻生長狀況，即影響衛星遙測植生指數 NDVI 之變化。

根據灰關聯理論，灰關聯度愈大，表示灰序愈前面，即子系統對母系統之影響或貢獻排在愈前面。以前述十二種環境因子為子系統，而以最近六年衛星監測的水稻植生指數為母系統，分別建立均值化數列，再經灰關聯運算所得的灰關聯度及灰序顯示，二十一個水稻樣區之結果都極為類似 (表 4)。

三個太陽相關因子之灰序，即日射量、氣溫及日照率都在十二個環境因子中分別佔第 1、2

表1 中央氣象局淡水氣象站 1999~2003 年氣象觀測月平均值。

Table 1. The climate factors monthly mean values covering from 1999~2003 at Tanshui Station of Central Weather Bureau.

Climate factors	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Daily cumulative irradiance (MJ/m ²)	165.09	150.23	203.70	232.52	310.05	340.27	395.29	389.35	290.29	257.34	168.71	155.46
Monthly cumulative precipitation (mm)	99.12	87.78	144.86	152.70	149.82	155.42	129.32	107.56	369.50	120.78	141.18	110.22
Monthly mean relative humidity (%)	79.40	80.60	81.60	80.60	76.80	81.00	76.20	75.40	75.20	77.40	79.00	79.20
Daily insolation percentage (%)	31.34	28.58	26.24	26.96	32.50	42.26	50.82	55.12	44.86	39.92	29.76	25.46
Monthly mean temperature (°C)	15.60	15.98	18.02	21.62	24.50	27.08	28.80	28.66	26.94	24.12	20.48	17.22

表2 北投垃圾焚化廠士林監測站 1999~2003 年空氣品質監測月平均值。

Table 2. The air quality factors monthly values covering from 1999~2003 at Shilin Station of Beitou Garbage Incinerator.

Air qualities	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SO ₂ (ppb)	2.25	1.84	2.24	2.10	2.60	3.14	2.55	2.81	2.30	2.01	1.88	2.16
O ₃ (ppb)	25.22	26.72	27.37	28.58	31.07	20.30	17.79	18.18	23.77	31.29	27.42	25.75
NO _x (ppb)	31.75	29.74	37.15	30.64	26.11	32.62	28.22	29.45	25.67	22.25	21.45	25.13
NO (ppb)	9.85	8.80	11.05	7.08	5.72	11.15	8.76	9.88	6.92	6.45	5.97	7.53
NO ₂ (ppb)	21.90	21.12	25.97	23.56	20.38	21.47	19.45	19.57	18.72	15.79	15.47	17.61
CO (ppm)	0.71	0.66	0.79	0.77	0.69	0.76	0.68	0.69	0.63	0.57	0.59	0.62
PM ₁₀ (mg/m ³)	45.36	43.11	51.51	50.48	39.59	33.54	33.04	33.73	32.18	36.05	34.55	39.39

表3 北投垃圾焚化廠興建後不同方向水稻樣區水稻植被的 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 之季節性變化。
Table 3. The seasonal change of normalized difference vegetation index (NDVI) of rice canopy monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery at Guandu Plain after the operation of Beitou Garbage Incinerator.

Rice area	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.13	0.07	0.15	0.28	0.23	0.41	0.27	0.15	0.21	0.21	0.12	0.03
2	0.15	0.07	0.14	0.29	0.25	0.42	0.30	0.19	0.21	0.23	0.13	0.04
3	0.11	0.04	0.07	0.23	0.29	0.43	0.31	0.24	0.25	0.23	0.14	0.01
4	0.06	0.00	0.01	0.18	0.35	0.46	0.44	0.24	0.29	0.26	0.08	0.00
5	0.16	0.05	0.09	0.21	0.25	0.47	0.42	0.24	0.27	0.29	0.12	0.09
6	0.22	0.02	0.05	0.11	0.19	0.45	0.45	0.16	0.20	0.27	0.10	0.07
7	0.11	0.01	0.02	0.13	0.25	0.47	0.44	0.15	0.21	0.29	0.13	0.03
8	0.09	0.00	0.04	0.20	0.31	0.45	0.38	0.19	0.26	0.29	0.12	0.03
9	0.10	0.00	0.00	0.13	0.33	0.46	0.41	0.15	0.25	0.34	0.15	0.14
10	0.08	0.03	0.00	0.11	0.31	0.45	0.40	0.19	0.28	0.33	0.13	0.05
11	0.21	0.07	0.13	0.27	0.28	0.49	0.43	0.19	0.24	0.29	0.13	0.06
12	0.14	0.00	0.03	0.18	0.32	0.44	0.41	0.15	0.14	0.33	0.13	0.05
13	0.09	0.01	0.02	0.19	0.32	0.43	0.39	0.19	0.28	0.34	0.15	0.04
14	0.11	0.01	0.01	0.13	0.32	0.46	0.39	0.19	0.28	0.32	0.13	0.02
15	0.15	0.04	0.07	0.22	0.32	0.48	0.42	0.19	0.25	0.33	0.16	0.02
16	0.08	0.01	0.03	0.18	0.34	0.45	0.41	0.17	0.28	0.35	0.16	0.03
17	0.13	0.03	0.00	0.19	0.34	0.47	0.41	0.21	0.31	0.30	0.16	0.05
18	0.13	0.00	0.01	0.17	0.33	0.46	0.38	0.23	0.31	0.33	0.13	0.05
19	0.12	0.01	0.04	0.16	0.29	0.47	0.41	0.22	0.22	0.30	0.13	0.01
20	0.08	0.00	0.01	0.09	0.32	0.46	0.41	0.22	0.35	0.31	0.13	0.00
21	0.07	0.01	0.02	0.18	0.27	0.41	0.42	0.28	0.28	0.25	0.14	0.04

表4 北投垃圾焚化廠興建後全年度不同方向水稻樣區水稻植被的 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 與空氣品質及氣象因子之灰關聯值及灰序。

Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Guandu Plain after the operation of Beitou Garbage Incinerator.

Rice area	Air quality factor										Climate factor		
	SO ₂	O ₃	NO _x	NO	NO ₂	CO	PM ₁₀	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature	
1	0.6199 (3)	0.5463 (11)	0.5804 (6)	0.5706 (9)	0.5802 (7)	0.5920 (5)	0.5484 (10)	0.6455 (1)	0.5387 (12)	0.5751 (8)	0.5983 (4)	0.6328 (2)	
2	0.6496 (3)	0.5656 (11)	0.6025 (6)	0.5929 (9)	0.6019 (7)	0.6159 (5)	0.5688 (10)	0.6870 (1)	0.5497 (12)	0.5986 (8)	0.6332 (4)	0.6665 (2)	
3	0.5962 (4)	0.5138 (11)	0.5383 (7)	0.5334 (9)	0.5372 (8)	0.5520 (5)	0.5074 (12)	0.6670 (1)	0.5299 (10)	0.5423 (6)	0.6090 (3)	0.6285 (2)	
4	0.5198 (4)	0.4600 (11)	0.4755 (8)	0.4735 (10)	0.4746 (9)	0.4850 (6)	0.4526 (12)	0.5861 (1)	0.4876 (5)	0.4802 (7)	0.5416 (3)	0.5477 (2)	
5	0.5899 (4)	0.4994 (11)	0.5304 (8)	0.5335 (7)	0.5258 (9)	0.5418 (5)	0.4960 (12)	0.6604 (1)	0.5071 (10)	0.5353 (6)	0.6136 (3)	0.6204 (2)	
6	0.5748 (4)	0.5049 (11)	0.5335 (8)	0.5440 (5)	0.5272 (9)	0.5393 (6)	0.5042 (12)	0.6121 (1)	0.5057 (10)	0.5360 (7)	0.5934 (2)	0.5866 (3)	
7	0.5549 (4)	0.4974 (11)	0.5131 (8)	0.5163 (7)	0.5101 (9)	0.5218 (5)	0.4895 (12)	0.6028 (1)	0.5063 (10)	0.5199 (6)	0.5726 (3)	0.5767 (2)	

* The number in parenthesis was grey order.

表4 北投垃圾焚化廠興建後全年度不同方向水稻樣區水稻植被的 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 與空氣品質及氣象因子之灰關聯值及灰序。(續1)

Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Guandu Plain after the operation of Beitou Garbage Incinerator. (Continued 1)

Rice area	Air quality factor										Climate factor			
	SO ₂	O ₃	NO _x	NO	NO ₂	CO	PM ₁₀	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature		
8	0.5532 (4)*	0.4906 (11)	0.5030 (8)	0.4997 (10)	0.5022 (9)	0.5153 (5)	0.4795 (12)	0.6145 (1)	0.5064 (7)	0.5113 (6)	0.5687 (3)	0.5835 (2)		
9	0.5333 (4)	0.4805 (9)	0.4812 (8)	0.4795 (11)	0.4799 (10)	0.4944 (6)	0.4622 (12)	0.5749 (1)	0.4848 (7)	0.4976 (5)	0.5450 (3)	0.5585 (2)		
10	0.5305 (4)	0.4741 (11)	0.4811 (8)	0.4811 (9)	0.4793 (10)	0.4922 (7)	0.4589 (12)	0.5865 (1)	0.4935 (5)	0.4933 (6)	0.5552 (3)	0.5608 (2)		
11	0.6246 (4)	0.5430 (11)	0.5769 (6)	0.5752 (8)	0.5739 (9)	0.5876 (5)	0.5439 (10)	0.6705 (1)	0.5312 (12)	0.5763 (7)	0.6253 (3)	0.6417 (2)		
12	0.5818 (4)	0.5315 (10)	0.5390 (7)	0.5371 (9)	0.5377 (8)	0.5502 (5)	0.5205 (11)	0.6226 (1)	0.5113 (12)	0.5482 (6)	0.5876 (3)	0.5995 (2)		
13	0.5232 (4)	0.4674 (11)	0.4723 (8)	0.4679 (10)	0.4720 (9)	0.4858 (5)	0.4515 (12)	0.5853 (1)	0.4828 (7)	0.4853 (6)	0.5453 (3)	0.5595 (2)		
14	0.5232 (4)	0.4674 (11)	0.4723 (8)	0.4679 (10)	0.4720 (9)	0.4858 (5)	0.4515 (12)	0.5853 (1)	0.4828 (7)	0.4853 (6)	0.5453 (3)	0.5595 (2)		

*The number in parenthesis was grey order.

表4 北投垃圾焚化廠興建後全年度不同方向水稻樣區水稻植被的 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 與空氣品質及氣象因子之灰關聯值及灰序。(續2)

Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Guandu Plain after the operation of Beitou Garbage Incinerator. (Continued 2)

Rice area	Air quality factor										Climate factor			
	SO ₂	O ₃	NO _x	NO	NO ₂	CO	PM ₁₀	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature		
15	0.5606 (4) **	0.4962 (11)	0.5110 (7)	0.5078 (9)	0.5097 (8)	0.5235 (5)	0.4857 (12)	0.6187 (1)	0.4966 (10)	0.5192 (6)	0.5753 (3)	0.5905 (2)		
16	0.5202 (4)	0.4703 (10)	0.4731 (8)	0.4686 (11)	0.4730 (9)	0.4859 (5)	0.4538 (12)	0.5762 (1)	0.4825 (7)	0.4858 (6)	0.5386 (3)	0.5536 (2)		
17	0.5461 (4)	0.4810 (11)	0.4917 (8)	0.4888 (10)	0.4907 (9)	0.5051 (5)	0.4676 (12)	0.6070 (1)	0.5022 (7)	0.5036 (6)	0.5684 (3)	0.5791 (2)		
18	0.5687 (4)	0.5020 (11)	0.5108 (8)	0.5083 (10)	0.5095 (9)	0.5244 (5)	0.4864 (12)	0.6340 (1)	0.5239 (6)	0.5232 (7)	0.5935 (3)	0.6032 (2)		
19	0.5587 (4)	0.4932 (11)	0.5103 (8)	0.5123 (7)	0.5074 (9)	0.5203 (5)	0.4847 (12)	0.6202 (1)	0.4982 (10)	0.5168 (6)	0.5804 (3)	0.5851 (2)		
20	0.5256 (4)	0.4698 (11)	0.4796 (9)	0.4802 (8)	0.4777 (10)	0.4891 (6)	0.4565 (12)	0.5841 (1)	0.5085 (5)	0.4887 (7)	0.5546 (3)	0.5561 (2)		
21	0.5420 (4)	0.4683 (11)	0.4882 (9)	0.4887 (8)	0.4859 (10)	0.4999 (5)	0.4613 (12)	0.6268 (1)	0.4969 (6)	0.4965 (7)	0.5792 (3)	0.5820 (2)		

* The number in parenthesis was grey order.

及3名。而灰序第4及5名則分別為屬於空氣品質項目之 SO_2 及 CO 。二種水分相關因子，即溼度及降雨量則分屬第6及7名。三種氮氧化物 NO 、 NO_x 、 NO_2 則分屬第8、9及10名。而 O_3 及 PM_{10} 則明顯站在11第及12名。整體而言，五種氣象因子佔據第1、2、3、6及7的灰序，基本上以前半段為主；而七種空氣品質監測項目則站在第4、5、8、9、10、11及12，亦即以灰序的後半段為主。

以上灰關聯度與灰序顯示，影響關渡平原水稻生長之二大類環境因子中，明顯的以五種氣象因子為主，而七種環境品質監測項目則為其次。在五種氣象因子中，又以三種太陽相關因子為主，而水分相關因子則較其次。七種空氣品質監測項目中，則以 SO_2 及 CO 為主要影響因素，其次才是三種氮化合物，而 O_3 及 PM_{10} 則殿後，即其影響遠不及其它。

根據灰關聯分析，北投垃圾焚化廠之排放氣體與粒狀物，包括 SO_2 、 O_3 、 NO_x 、 NO 、 NO_2 、 CO 及 PM_{10} 如果對關渡平原水稻生長有影響，其程度遠不及氣象因子所造成之影響。而且，如果這七種空氣品質監測項目對關渡平原水稻生長有影響，其中以 SO_2 及 CO 之效應較大。簡而言之，氣象因子才是影響關渡平原水稻生長的關鍵因素，而非空氣品質；即使焚化廠之排放氣體與粒狀物有影響，也只是次要的因素。

北投垃圾焚化廠之排放氣體及粒狀物，當然有可能因為氣候條件而沉降在關渡平原、社子島及其鄰近山區，若長期或不間斷的對同一植被被沉降焚化廠之排放氣體或粒狀物，很可能造成損傷，而這種損傷則可能是多面向的。若北投垃圾焚化廠運轉後其水稻產量正常（Huang *et al.*, 2005），則吾人可推論水稻之生長過程屬正常；若水稻生長正常，則隱涵著不論氣候因子或空氣品質如何，並未對關渡平原水稻之生長過程產生明顯負面影響。本研究雖然證明，即使北投垃圾焚化廠之排放氣體及粒狀物有沉降在農田裡，對關渡平原水稻生長並非主要影響因素，但並不能推論焚化廠之排放氣體及粒狀物是否或有無沉降在關渡平原之稻田裡，當然也不能證明是否或有無轉移進入水稻植體中。此需進一步探明。

參考文獻

- Chao, P. Y., J. S. Yang and C. M. Yang. 2000. The grey prediction models on chlorophyll degradation of cucumbers during brining. *J. Grey System* 12: 187-198.
- Che, K. J. and H. Y. He. 1993. Grey relational analysis and topological prediction on ecological environment. *J. Grey Sys.* 5: 147-162.
- Chen, Y. K. and X. R. Tan. 1995. Grey relational analysis on serum markers of liver fibrosis. *J. Grey Sys.* 7: 63-74.
- Choudhury, B. J. 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by sensitivity analysis. *Remote Sens. Environ.* 22: 209-233.
- Chu, Y. H., P. Y. Chao, J. S. Yang and C. M. Yang. 2003. Grey relational analyzing the flavonoid contents and antioxidative activities of eight vegetables. *J. Grey System* 15: 67-72.
- Deng, J. L. 1982. Control problems of grey systems. *Systems and Control Lett.* 5: 288-294.

- Deng, J. L. 1989. Introduction to grey system theory. *J. Grey System* 1: 1-24.
- Deng, J. L. and H. Guo. 1996. *The Principle and Application of Grey Prediction*. Chuan-Hua Technology Press. Taipei, Taiwan.
- Guo, R. L. 1994. Conception on grey crop breeding science. *J. Grey Sys.* 6: 57-270.
- Hsu M. H. 2003 Studies on the relationship of pigment contents and reflectance spectra in the leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). Ph. D. Dissertation, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Hsu M.H., W. D. Huang, Z. W. Yang, Y. Z. Tsai, S. S. Chang, J. S. Yang and C. M. Yang. 2003. Grey relational analysis on the pigment contents and normalized difference vegetation index (NDVI) of sweet potato leaves. *Chinese Agron. J.* 13: 273-282.
- Huang, W. D., J. S. Yang, M. H. Hsu, Z. W. Yang, Y. Z. Tsai, S. S. Chang, and C. M. Yang. 2005. Application of grey system theory in biology: (2) Photosystem I and II. *J. Grey Sys.* 17:67-72.
- Huang, W. D., J. C. Chen, M. H. Hsu, Z. W. Yang, J. S. Yang, S. S. Chang, Y. Z. Tsai, K. Y. Huang, L. C. Lu, C. T. Chen and C. M. Yang. 2005. Effects of climate factors on the satellite remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) of vegetation in the Mt. Huangzui area of Taiwan. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46: (in press)
- Huang, W. D., J. C. Chen, M. H. Hsu, Z. W. Yang, S. S. Chang, Y. Z. Tsai, K. Y. Huang, L. C. Lu, C. C. Chen and C. M. Yang. 2003a. Grey relational analysis of the effect of climate factors on the satellite remote sensing brightness index of carpetgrass in Mt. Huangzui. *Chinese Agron. J.* 13: 59-66.
- Huang, W. D., Y. Z. Tsai, S. S. Chang, J. S. Yang and C. M. Yang. 2003b. Application of the grey system on biology: (I) the grey relational analysis of the effect of light-harvesting proteins on chlorophyll a/b ratio in higher plants. *J. Agric. China* 4(6): 550-556.
- Huang, W. D., M. H. Hsu, Z. W. Yang, J. H. Yang, J. C. Chen, H. S. Luhr and C. M. Yang. 2005. Analysis on the change of rice yield in Guandu Plain before and after the operating of Beitou Garbage Incinerator. *Sci. Agric.* 53: 22-30.
- Roughgarden, J., S. W. Running and P. A. Matson. 1991. What does remote sensing do for ecology. *Ecology* 72: 1918-1922.
- Steven, M. D. and J. A. Clark. 1990. *Application of remote sensing in agriculture*. University Press, Cambridge.
- Sun, Y. C. and W. C. Shen. 2002. Second Final Report of the Study on the Effects of Beitou Garbage Incinerator Waste Gas on the Neighboring Crops. Beitou Garbage Incinerator, Taipei City. January 25, 2002.
- Yang, C. M., J. S. Yang and P. Y. Chao. 1999. Grey prediction comparison on the antioxidative capacity of commercial black bean and soybean. *Nutr. Sci. J.* 24: 201-214.
- Yang, C. M., J. S. Yang, C. K. Yang, and C. H. Chou. 1999. Long-term research on chlorophyll cycling in the Yuanyang Lake Nature Preserve I. The grey prediction models on chlorophyll degradation of

- Chamaecypari. var. formosana* leaf. *Photosynthetica* 37: 499-508.
- Yang, C. M., J. C. Chen, L. L. Peng, J. S. Yang, and C. H. Chou. 2002. Chi-Chi earthquake-caused landslide: grey prediction model for pioneer recovery monitored by satellite images. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 43: 69-75.
- Yang, Z. W., M. H. Hsu, W. D. Huang, J. S. Yang, Y. Z. Tsai, C. M. Yang and S. S. Chang. 2004. Remote sensing normalized difference vegetation index of paddy rice during vegetation stage. *Crop, Environ. Bioinformatics* 1(3): 199-206.
- Yang, Z. W. 2001. Satellite remote sensing and grey system theory applied for monitoring the vegetative stage of paddy rice. MS thesis. Department of Agriculture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

Grey Relational Analysis of the Effects of Climate Factors and Air Qualities on the Rice Growth Monitored by SPOT Satellite Remote Sensing Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) after Operation of Beitou Garbage Incinerator

Ming-Huang Hsu⁽¹⁾ Wen-Dar Huang⁽²⁾ Zhi-Wei Yang⁽³⁾ Jen-Chang Chen⁽³⁾
Jia-Hau Yang⁽³⁾ Meng-Yuan Huang⁽³⁾ Hu-Sen Luhr⁽⁴⁾ Chi-Ming Yang^{(5)*}

Abstract

This research studied the seasonal change of normalized difference vegetation index (NDVI) of rice canopy monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery between 1999 and 2003, and applied the grey system theory to analyze the relationship between rice NDVI and five climate factors, including monthly cumulative precipitation, monthly mean relative humidity, daily insolation percentage, monthly mean temperature and daily cumulative irradiance, and seven air quality factors, such as SO₂, O₃, NO_x, NO, NO₂, CO and PM₁₀. The grey relation value and grey order indicated that climate factors play a more important role in determining rice growth than air quality factors at Guandu Plain. Among the five climate factors, the sun-related factors (irradiance, temperature and insolation) contribute more to rice satellite NDVI than the water-related factors (humidity and precipitation). Among the seven air quality factors, SO₂ and CO contribute more than those of NO_x, NO and NO₂. O₃ and PM₁₀ are the last. According to the grey system theory, the waste gas and particles released by the Beitou Garbage Incin-

(1)Postdoctorate, Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, R.O.C.

(2)Lecturer, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

(3)Research Assistant, Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, R.O.C.

(4)Professor, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

(5)Associate Research Fellow, Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, R.O.C. & Concurrent Associate Professor, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

*Corresponding author.

(Received April 18, 2005; Revised September 9, 2005; Accepted September 22, 2005)

erator make much less contribution degree than the natural climate factors to the rice growth at Guandu Plain, even if the effects are still shown.

Keywords: satellite remote sensing, Guandu Plain, climate factors, normalized difference vegetation index, grey relational analysis, grey order.